

**Magnetic valve drive method involves determining variable parameter of drive signal so valve stroke remains essentially outside stroke region with unstable force equilibrium**

**Patent number:** DE19946348

**Publication date:** 2001-03-29

**Inventor:** RADER THOMAS [DE]; HAEUSSLER ALEXANDER [DE]; WISS HELMUT [DE]

**Applicant:** BOSCH GMBH ROBERT [DE]

**Classification:**

- international: F15B13/044; B60T8/34; B60T13/68

- european: B60T8/36; B60T8/36F6; B60T15/02E2; F15B13/04B4; F15B13/044B

**Application number:** DE19991046348 19990928

**Priority number(s):** DE19991046348 19990928

**Also published as:**



US6504699 (B1)

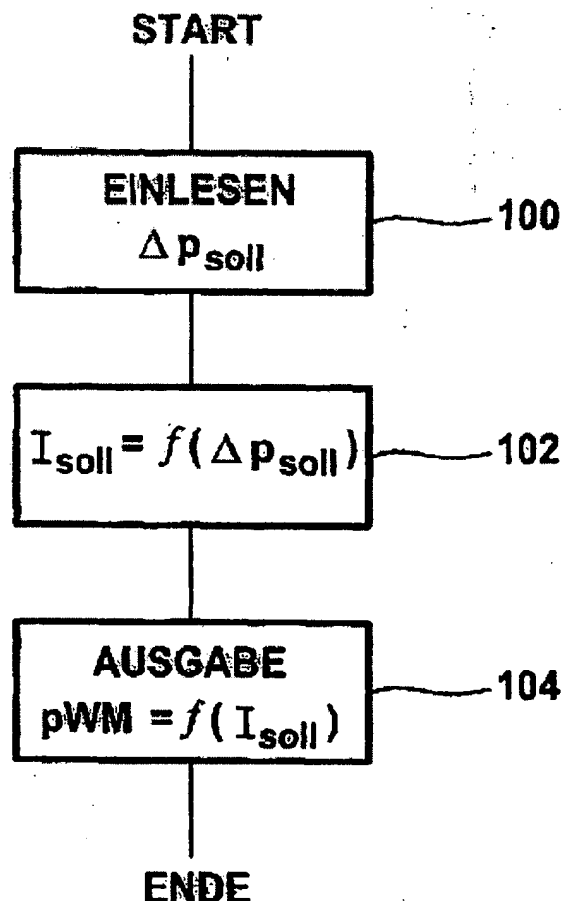
JP2001124233 (A)

FR2799015 (A1)

## Abstract of DE19946348

The method involves generating a predefined drive signal with at least one variable parameter for driving the valve depending on a pressure that is to be set up. The variable parameter is determined so that the stroke of the valve remains essentially outside the region with unstable force equilibrium

BEST AVAILABLE COPY



19 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

12 Offenlegungsschrift  
10 DE 199 46 348 A 1

51 Int. Cl.<sup>7</sup>:  
F 15 B 13/044  
B 60 T 8/34  
B 60 T 13/68

21 Aktenzeichen: 199 46 348.4  
22 Anmeldetag: 28. 9. 1999  
43 Offenlegungstag: 29. 3. 2001

DE 199 46 348 A 1

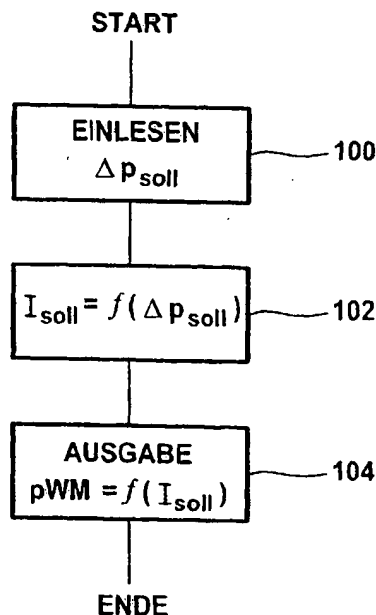
71 Anmelder:  
Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE

72 Erfinder:  
Rader, Thomas, 71701 Schwieberdingen, DE;  
Haeussler, Alexander, 69117 Heidelberg, DE; Wiss,  
Helmut, 71696 Möglingen, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

54 Verfahren und Vorrichtung zur Ansteuerung eines Magnetventils

57 Es werden ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Ansteuerung eines Magnetventils vorgeschlagen, welches Hubbereiche mit stabilem und Hubbereiche mit instabilem Kräftegleichgewicht aufweist. Zur Einstellung eines vorgegebenen Differenzdrucks über dem Magnetventil wird eine Ansteuersignalgröße gebildet, die derart gewählt wird, daß die Hubbereiche mit instabilem Kräftegleichgewicht vermieden oder die Aufenthaltszeit des Magnetventils in diesen Bereichen verringert wird.



DE 199 46 348 A 1

## Beschreibung

## Stand der Technik

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Ansteuerung eines Magnetventils.

Elektrisch gesteuerte Magnetventile werden als Drucksteuerventile in der Technik in vielfacher Verwendung eingesetzt. Ein besonderes Anwendungsgebiet von solchen Magnetventilen ist die Bremsanlage eines Kraftfahrzeugs, bei welcher durch Betätigen von Magnetventilen der Druck in den Radbremszylindern gesteuert wird. Ein Beispiel für eine derartige Steuerung eines Magnetventils ist aus der DE 195 01 760 A1 (US-Patent 5,727,852) bekannt. Dort wird eine hydraulische Bremsanlage beschrieben, bei welcher die in den Radbremszylinder eingesetzten Drücke durch Steuerung wenigstens eines Magnetventils gemäß einem Vorgabewert eingestellt werden. Es wird durch Betätigen dieses Magnetventils in wenigstens einer Radbremse Druck aufgebaut, gehalten oder abgebaut. Die Steuerung des Magnetventils erfolgt dabei im Rahmen eines Druckregelkreises, durch welchen ein vorgegebener Sollwert für den Druck in der Radbremse eingestellt wird.

Ein weiteres Verfahren bzw. eine weitere Vorrichtung zur Steuerung eines Druckregelventils in einer Bremsanlage ist aus der DE 196 54 427 A1 bekannt. Dort wird zur Steuerung des Drucks in wenigstens einer Radbremse im Rahmen eines Druckregelkreises wenigstens ein Schaltventil derart angesteuert, daß das Ventil ein Proportionalverhalten zeigt. Dabei ist ein Druckregler vorgesehen, welcher ein pulsweitenmoduliertes Ansteuersignal für das Ventil oder einen Stromsollwert für den durch die Ventilverwicklung fließenden Strom in Abhängigkeit der Abweichung des im Bereich einer Radbremse gemessenen Drucks von einem vorgegebenen Sollwert bildet. Der Öffnungsquerschnitt des Ventils und damit der über das Ventil fließende Volumenstrom stellt sich entsprechend der Ansteuersignalgröße ein. Durch die Regelung wird eine vorbestimmte Druckdifferenz über dem Ventil eingestellt. Das pulsweitenmodulierte Ansteuersignal ist dabei derart gewählt, daß sich ein dem Öffnungsquerschnitt entsprechender mittlerer Strom durch die Ventilverwicklung einstellt.

In einigen Anwendungsfällen hat sich die Einstellung einer sehr kleinen Druckdifferenz mittels einer derartigen Ventilansteuerung als problematisch erwiesen, da unter bestimmten Betriebsbedingungen ein spontanes Öffnen des Magnetventils beobachtet wurde.

Es ist Aufgabe der Erfindung, Maßnahmen zur Ansteuerung eines Magnetventils anzugeben, mit dessen Hilfe auch eine sehr kleine Druckdifferenz über dem Ventil einstellbar ist.

## Vorteile der Erfindung

Es wird die Einstellung einer sehr kleinen Druckdifferenz auch bei Ventilen ermöglicht, die zumindest unter bestimmten Betriebsumständen bei kleinen Druckdifferenzen spontan öffnen. Dadurch, daß durch das Ansteuerungsverfahren nicht ein mittlerer Strom, sondern im Rahmen einer vorgegebenen Frequenz ein Strom eingestellt wird, der ein abwechselndes Schließen und Öffnen des Ventils zur Einstellung der kleinen Druckdifferenz bewirkt, wird dem spontanen Öffnen des Ventils entgegengewirkt. Selbst für den Fall, daß das Magnetventil spontan öffnet, wird das Ventil durch die nach Maßgabe der Ansteuerfrequenz vorgenommene erhöhte Bestromung wieder geschlossen und auf diese Weise die gewünschte Druckdifferenz eingehalten.

In vorteilhafter Weise wird die Ansteuerung so gewählt,

daß die Öffnungsbereiche des Ventils (Hubbereiche), in denen eine spontane Öffnung des Ventils erwartet wird, vermieden werden, bzw. die Verweilzeit des Magnetventils in diesen Bereichen verringert wird, indem durch die Ansteuerung das Ventil immer außerhalb dieser Hubbereiche bewegt wird.

Besonders vorteilhaft ist die Anwendung des Ansteuerverfahrens auf ein Magnetventil, welches in Verbindung mit der elektrischen Steuerung einer Bremsanlage, insbesondere mit dem Aufbau sehr kleiner Bremsdruckwerte, eingesetzt wird, wie es z. B. in Verbindung mit einem automatischen Bremsvorgang wünschenswert ist.

Weitere Vorteile ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung bzw. aus den abhängigen Patentansprüchen.

## Zeichnung

Die Erfindung wird nachstehend anhand der in der Zeichnung dargestellten Ausführungsformen näher erläutert. Fig. 1 zeigt den prinzipiellen Aufbau eines Magnetventils, während in Fig. 2 typische Kennlinien für unterschiedliche Differenzdrücke eines ausgewählten Magnetventils dargestellt sind. In Fig. 3 ist am Beispiel eines Zeitdiagramms die Ansteuerung zum Einstellen kleiner Differenzdrücke dargestellt. In Fig. 4 schließlich ist anhand eines Zeitdiagramms die Wirkungsweise dieser Ansteuerung zum Einstellen kleiner Differenzdrücke über dem Ventil im Vergleich zu einer herkömmlichen, pulsweitenmodulierten Ansteuerung dargestellt. In Fig. 5 schließlich ist ein Flußdiagramm skizziert, welches eine bevorzugte Realisierungsform der Ansteuerung darstellt.

## Beschreibung von Ausführungsbeispielen

In Fig. 1 ist schematisch ein Magnetventil dargestellt, welches aus einem Gehäuse 10, einer Ventilmadel 12, einem Ventilsitz 14, einer in Öffnungsrichtung des Ventils vorgespannten ersten Feder 16 und einem Ventilanker 18 besteht, welcher durch elektromagnetische Betätigung den Anker in der in Fig. 1 dargestellten X-Richtung betätigt. Die auf den Anker wirkenden Kräfte sind der Druck  $F_{\text{Druck}}$  am Ventilausgang 22, die in Öffnungsrichtung gerichtete Federkraft  $F_F$  sowie die in Schließrichtung gerichtete Magnetkraft  $F_{\text{mag}}$ . Die Magnetkraft  $F_{\text{mag}}$  ergibt sich in einem stabilen Gleichgewicht aus der Summe der Druckkraft  $F_{\text{Druck}}$  und der  $F_F$ . Die Magnetkraft  $F_{\text{mag}}$  selbst wird durch den Strom durch die eine Spule des Ankers 18 bestimmt und entsprechend dem beispielsweise im Rahmen eines Druckregelkreises gewünschten  $F_{\text{Druck}}$  vorgegeben. Dieser Druck stellt einen Differenzdruck über dem Ventil in bezug auf den Eingangsdruck am Ventileingang 24 dar. Entspricht dieser (wie es in der Regel bei unbetätigtem Pedal einer Bremsanlage der Fall ist) im wesentlichen Atmosphärendruck, stellt der ausgangsseitige Druck  $F_{\text{Druck}}$  den Differenzdruck dar.

Die Kennlinien für die öffnenden und schließenden Kräfte über dem Hub eines solchen Ventils ist für verschiedene Druckdifferenzen  $\Delta p$  in Fig. 2 dargestellt. Durch eine herkömmliche pulsweitenmodulierte Ansteuerung, welche das Ventil einen mittleren Strom durch die Ventilschleife einstellt und so den Anker in einer Mittelstellung hält, wird ein stabiles Kräftegleichgewicht erreicht, wenn die schließende Kraft  $F_{\text{mag}}$  größer als die öffnenden Kräfte  $F_{\text{Druck}} + F_F$  ist. Ist dies umgekehrt, d. h. sind die öffnenden Kräfte größer als die schließenden Kräfte, ergibt sich ein instabiles Gleichgewicht, was zur Folge hat, daß das Ventil bei kleinster Störung ungewollt öffnet. Dadurch bricht der gewünschte Differenzdruck über dem Ventil zusammen. In Fig. 2 sind für drei verschiedene Differenzdruckwerte  $\Delta p_1$ ,  $\Delta p_2$  und  $\Delta p_3$

die Kurven der öffnenden Kräfte (durchgezogen) und der schließenden Kräfte (gestrichelt) über dem Hub  $X$  aufgetragen. Dabei sind deutlich Schnittpunkte ( $X_1$ ,  $X_1'$ ,  $X_2$ ,  $X_2'$ ,  $X_3$ ,  $X_3'$ ) der jeweiligen Geraden festzustellen, welche den Hubbereich  $X$  in instabile und stabile Bereiche unterteilt. Bei kleinen Differenzdrücken ( $\Delta p_1 < \Delta p_3$ ) verschieben sich die Schnittpunkte, die den stabilen und den instabilen Bereich trennen, zu kleineren Hübten hin und die Schnittpunkte rücken zusammen. Damit erhöht sich mit kleiner werdenden Differenzdrücken die Gefahr, daß bei kleinen Störungen auf das Magnetventil sich die Nadel des Magnetventils über den stabilen Bereich des Hubes in den instabilen Bereich bewegt und dann schlagartig öffnet.

Wird das Ventil im Rahmen einer Druckregelung mittels eines pulsweitenmodulierten Signals gemäß dem eingangs genannten Stand der Technik angesteuert, so wird in der Regel die Ansteuerfrequenz für die Ventilschule geringer als die Eigenfrequenz des verwendeten Ventils gewählt und die Pulsweite so eingestellt, daß ein mittlerer Strom durch Ventilschule resultiert, welcher eine entsprechende mittlere Stellung des Ventils einstellt. Allerdings bewegt sich das Ventil während der Ansteuerung über relativ große Hubbereiche und kann somit in instabile Bereiche gelangen. Ein spontanes Öffnen des Ventils und ein Zusammenbruch der Druckdifferenz über dem Ventil ist die Folge. Eine Berücksichtigung der Ventildynamik findet nicht statt. Die eingestellte Magnetkraft reicht in diesem Fall für ein Schließen nicht aus.

Ein Beispiel für ein solches Verhalten ist anhand des Zeitdiagramms der Fig. 4a dargestellt. Dort ist ein vorgegebener Druck  $P$  (Differenzdruck über dem Ventil) eingestellt, der zum Zeitpunkt  $T_0$  verlassen wird. Der Druckregler regelt nunmehr im wesentlichen linear den Differenzdruck ab, bis zum Zeitpunkt  $T_1$  das Ventil in instabile Bereiche kommt. Die Folge ist ein plötzliches Öffnen des Ventils zum Zeitpunkt  $T_1$  und ein Zusammenbruch des Differenzdrucks über dem Ventil, was die Einstellung von sehr kleinen Differenzdrücken unmöglich macht.

Um dieses Verhalten zu vermeiden wird zumindest in den gefährdeten Hubbereichen das Ventil derart angesteuert, daß der Hubbereich des Ventils während einer Ansteuerung beschränkt ist und das Ventil somit im stabilen Bereich gehalten wird. Die Ventildynamik wird dabei in der Ansteuerung berücksichtigt.

Ein Beispiel für ein Ansteuersignal, mit dessen Hilfe diese Forderung erfüllt wird, ist als Zeitdiagramm in Fig. 3 dargestellt. Diese zeigt den Zeitverlauf des Soll- und Iststromes in der Ventilschule über der Zeit. Aufgetragen ist dabei eine Periode von  $T_{\text{Zyklusbeginn}}$  bis  $T_{\text{Zyklusende}}$ . Das Ansteuersignal ist aus zwei Phasen gebildet, eine Abfall- und eine Durchflußzeit. Der Sollstrom zeigt ein pulsweitenmoduliertes Verhalten, wobei je nach einzustellender Druckdifferenz sich die Dauer der Phasen verändert. Für einen Teil des Ansteuerzyklus wird der Sollstrom für die gewünschte Druckdifferenz über dem Ventil vorgegeben (Abfallzeit + Durchflußzeit). Der Iststrom fällt gemäß der Induktivität von einem erhöhten Wert auf den gewünschten Wert ab und das Ventil gelangt in einen Gleichgewichtszustand. Dort wird es eine Zeitlang gehalten und danach nach Beendigung der Durchflußzeit wieder mit einem höheren Strom beaufschlagt und somit geschlossen. Somit wird das Ventil nur für eine vorbestimmte Zeit (Durchflußzeit) in dem Bereich der Differenzdruckregelung gehalten und anschließend wieder zu kleineren Hübten bewegt, um instabile Hubbereiche zu vermeiden. Damit wird ein spontanes Aufspringen des Ventils vermieden. Die Ansteuerzeit mit dem zur gewünschten Druckdifferenz passenden Strom muß ausreichend groß sein. Dabei muß die Abfallphase so groß sein, daß der Strom

auf seinen Sollwert abfällt, während die daran anschließende Durchflußzeit groß genug sein muß, um einen ausreichend großen Volumenstrom über das Ventil zuzulassen. Anschließend wird das Ventil stärker bestrahlt, um den möglicherweise zu groß geratenen Ventilhübe zu begrenzen.

Mit anderen Worten wird der zur Einstellung der gewünschten Druckdifferenz vorgegebene Sollstrom als Basisstrom für die Ventilansteuerung vorgegeben. Im Rahmen eines pulsweitenmodulierten Signals wird für eine vorbestimmte Dauer (= Zykluszeit - (Durchflußzeit + Abfallzeit)) ein größerer Strom vorgegeben, welcher das Ventil in Schließrichtung bewegt. Die Druckdifferenz stellt sich dann entsprechend der Höhe des Sollstromes während der Durchflußzeit bzw. entsprechend der Längen der einzelnen Ansteuerzeiten ein. Sollte das Ventil spontan öffnen, wird durch die nachfolgende Erhöhung des Sollstroms ein erneutes Schließen des Ventils bewirkt, so daß auch kleine Differenzdrücke durch die Ventilansteuerung einstellbar sind.

Die Vorteile dieser Vorgehensweise zeigt das Zeitdiagramm der Fig. 4b. Dort wird der Verlauf einer zeitlichen, rampenförmigen Reduzierung der Druckdifferenz dargestellt, wobei festzustellen ist, daß kein spontanes Öffnen des Ventils auftritt und sehr kleine Differenzdrücke einstellbar sind.

Im bevorzugten Ausführungsbeispiel wird das Ventil von dem Programm eines Mikrocomputers angesteuert, der Teil einer Steuereinheit zur Steuerung der Bremsanlage ist. Ein Beispiel für ein derartiges Programm ist als Flußdiagramm in Fig. 5 dargestellt. Im bevorzugten Ausführungsbeispiel, auf welches sich das Flußdiagramm der Fig. 5 bezieht, wird das Ventil als Steuerventil für den Bremsdruckaufbau in einer Bremsanlage im Rahmen eines automatischen Bremsvorgangs eingesetzt, vorzugsweise als Steuerventil, welches die Öffnung der Bremsleistung zwischen Hauptzylinder und Radbremsen steuert. Dabei ist wesentlich, daß zu Beginn der Bremsung oder bei entsprechender Forderung sehr kleine Differenzdrücke eingestellt werden, d. h. sehr kleine Bremsdrücke eingesteuert werden.

Das in Fig. 5 skizzierte Programm wird zumindest dann eingeleitet, wenn kleine Differenzdrücke durch den Regler eingestellt werden sollen. Nach Start des Programms zu vorgegebenen Zeitpunkten wird im ersten Schritt 100 die vorgegebene Solldifferenzdruckgröße  $\Delta p_{\text{Soll}}$  eingelesen. Daraufhin wird im Schritt 102 die zur Einstellung dieser Differenzdruckgröße notwendige Stromsollgröße  $I_{\text{Soll}}$  bestimmt, beispielsweise auf der Basis von Tabellen, Berechnungsschritten, Kennlinien oder Kennfeldern, ggf. unter Berücksichtigung des Istdrucks. Daraufhin wird im Schritt 104 das Ansteuersignal zum Ventil ausgegeben, wobei das Lastverhältnis des Ansteuersignals derart gewählt ist, daß das mit dem für eine bestimmte Zeit mit dem Sollstrom angesteuerte Ventil für eine vorbestimmte Durchflußzeit öffnet und der gewünschte Differenzdruck sich einstellt. Durch über den Sollstrom hinausgehende Stromerhöhung für eine bestimmte Zeit während der Ansteuerperiode wird das Ventil wieder in Schließrichtung angesteuert.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur Ansteuerung eines Magnetventils, wobei ein vorgegebenes Ansteuersignal mit wenigstens einer veränderlichen Größe zur Ansteuerung des Magnetventils in Abhängigkeit einer einzustellenden Drucks erzeugt wird, wobei das Magnetventil Hubbereiche aufweist, in denen ein instabiles Kräftegleichgewicht und Hubbereiche aufweist, in denen ein stabiles Kräftegleichgewicht herrscht, **dadurch gekennzeichnet**, daß die veränderliche Größe derart bestimmt wird,

daß der Hub des Magnetventils im wesentlichen außerhalb der Bereiche mit instabilem Kräftegleichgewicht bleibt.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Ansteuersignalgröße ein pulsweitenmoduliertes Signal ist, welches den Strom durch die Ventilschule moduliert. 5

3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Ansteuersignalgröße derart vorgegeben ist, daß eine Abfallphase des Stromes vorgesehen ist, innerhalb derer der Strom auf den Sollstrom zur Einstellung des vorgegebenen Druckes absinkt und eine Durchflußphase vorgesehen ist, in der das Ventil mit dem Sollstrom bestromt wird. 10

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Ansteuersignal für eine Abfallzeit und eine Durchflußzeit den Sollstrom zur Einstellung des vorgegebenen Druckes vorgibt, für den Rest der Ansteuerperiode einen erhöhten, das Ventil in Schließrichtung steuernden Strom vorgibt. 15 20

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Ansteuersignalgröße derart vorgegeben wird, daß das Ventil für eine Durchflußzeit öffnet und danach wieder geschlossen wird. 25

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Ansteuersignalgröße nur zur Einstellung kleiner Differenzdrücke gebildet wird. 30

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Magnetventil ein Magnetventil einer Bremsanlage ist und zur Einstellung des Bremsdrucks in wenigstens einer Radbremse dient. 35

8. Vorrichtung zur Ansteuerung eines Magnetventils, mit einer ein Programm enthaltenden Rechneinheit, welches ein Ansteuersignal zur Ansteuerung des Magnetventils abhängig von einem gewünschten Druck bildet, wobei das Magnetventil Hubbereiche mit stabilem Kräftegleichgewicht und Hubbereiche mit instabilem Kräftegleichgewicht aufweist, dadurch gekennzeichnet, daß wenigstens eine veränderliche Größe des Ansteuersignals derart bestimmt wird, daß die Hubbereiche des Magnetventils mit instabilem Kräftegleichgewicht vermieden oder die Aufenthaltszeit des Magnetventils in diesen Hubbereichen verringert wird. 40 45

Hierzu 4 Seite(n) Zeichnungen

50

55

60

65

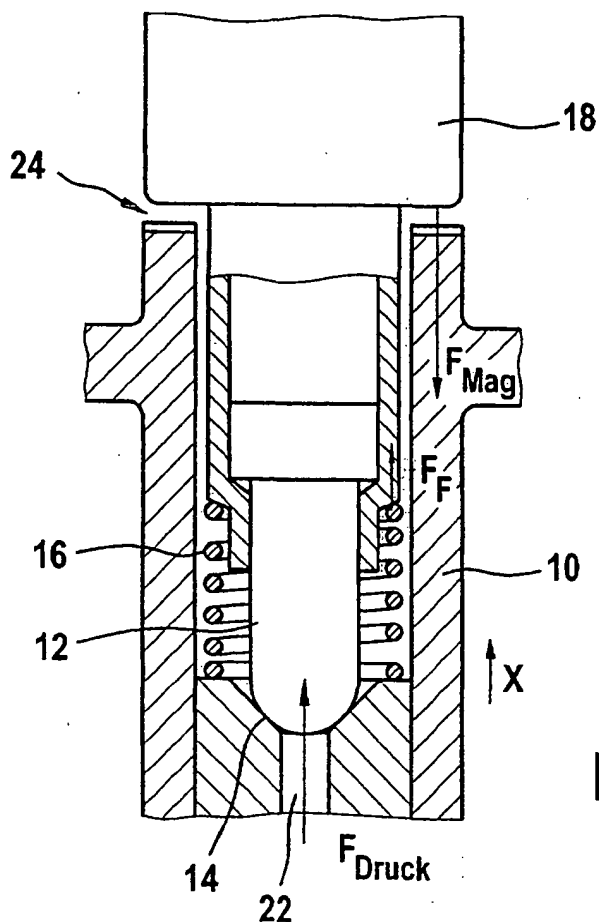


FIG. 1

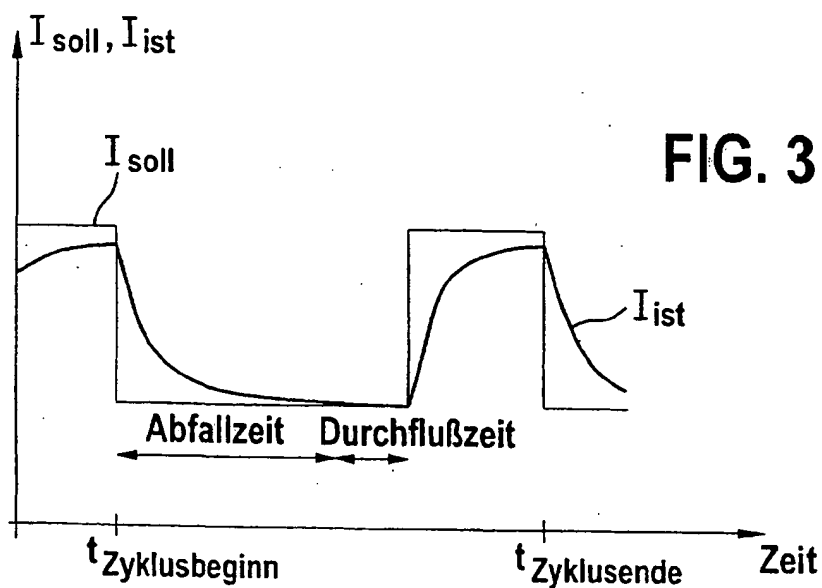
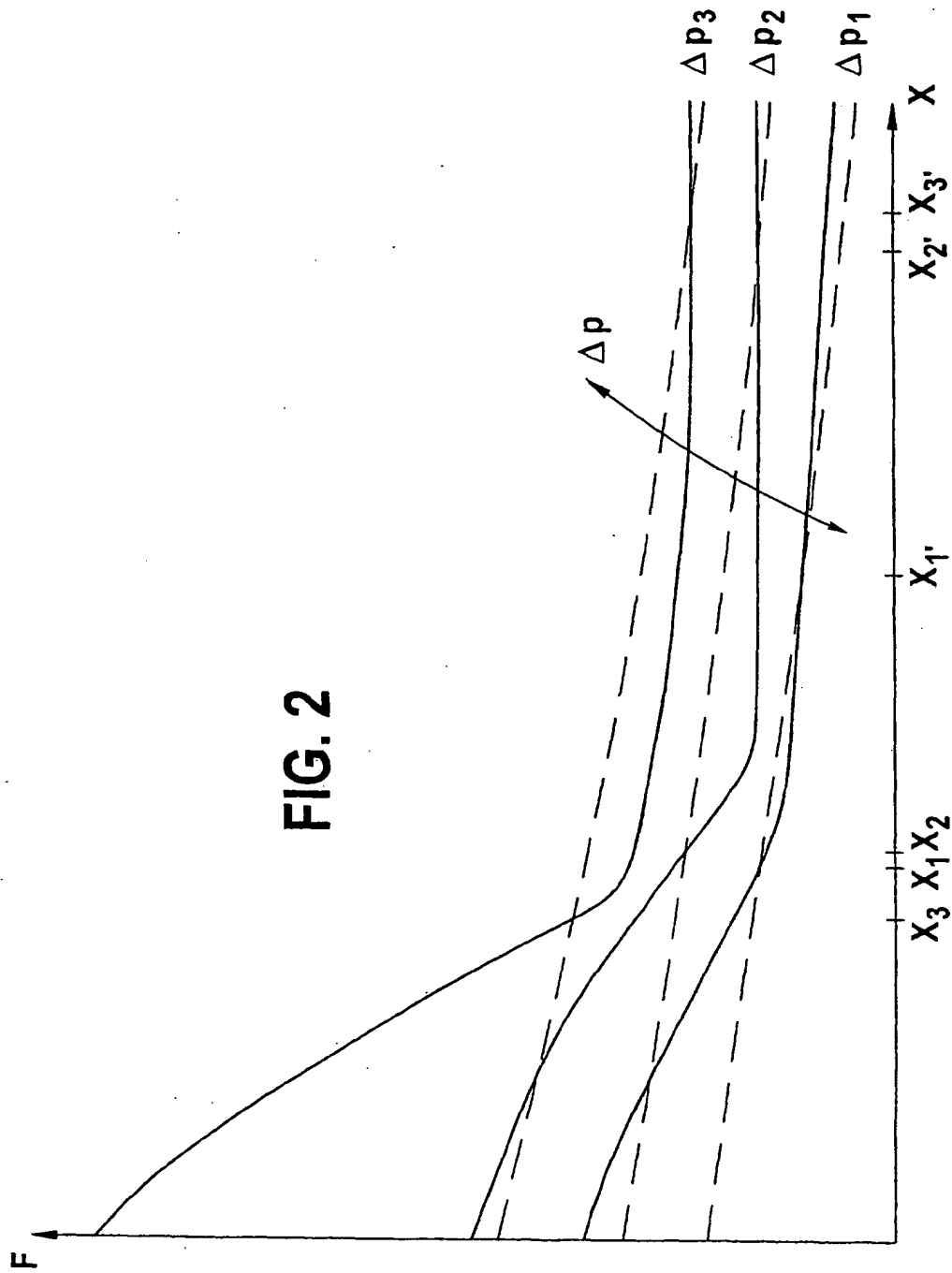
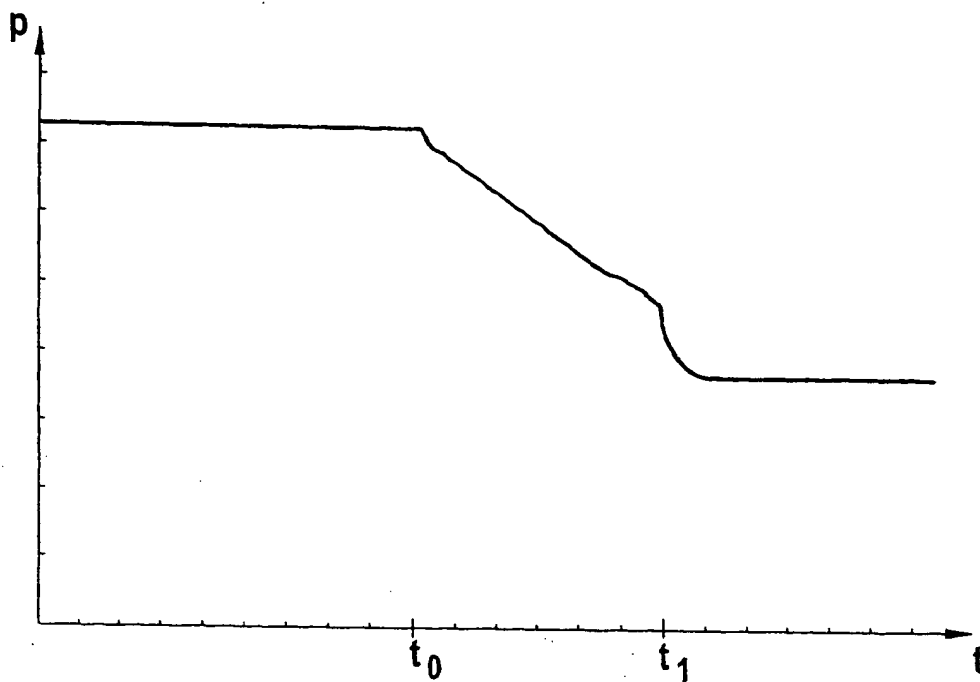


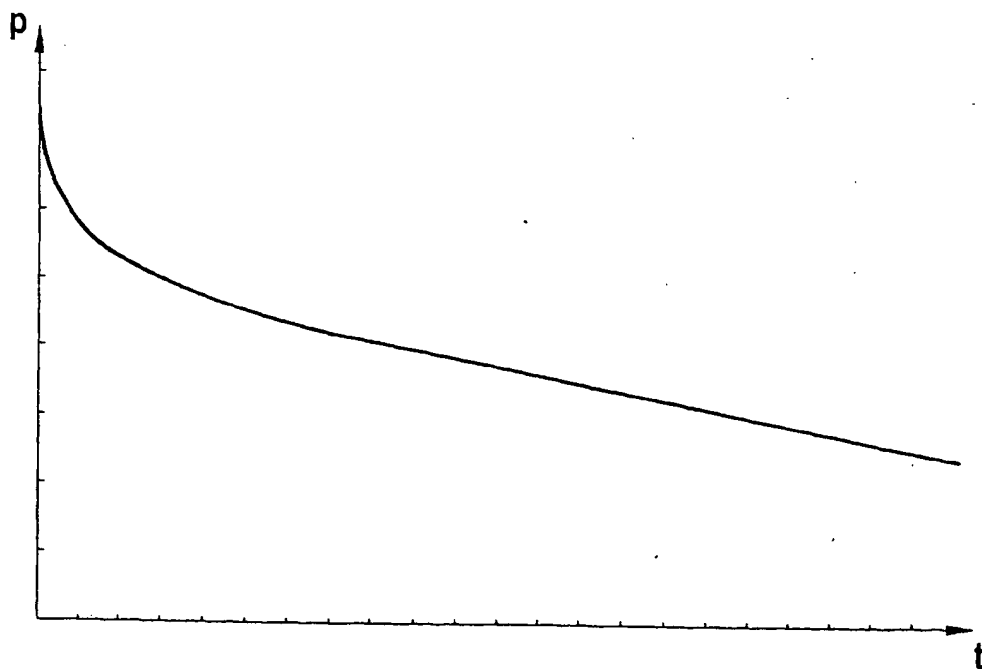
FIG. 3

FIG. 2





**FIG. 4a**



**FIG. 4b**



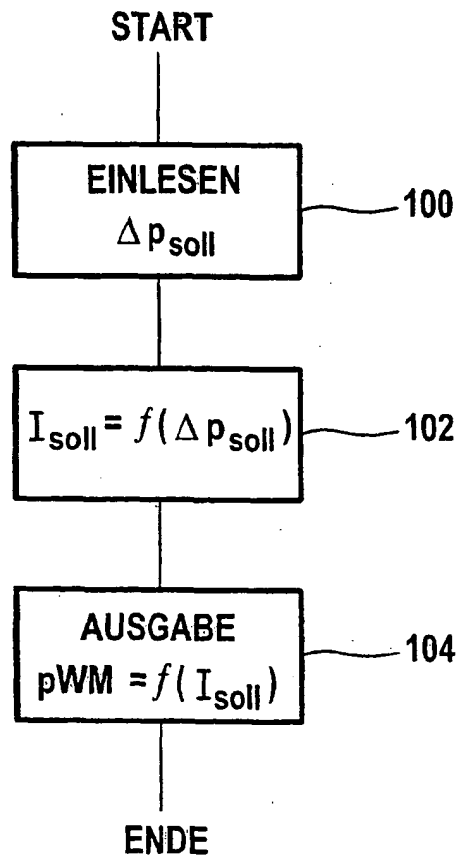


FIG. 5

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☒ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER: \_\_\_\_\_**

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**